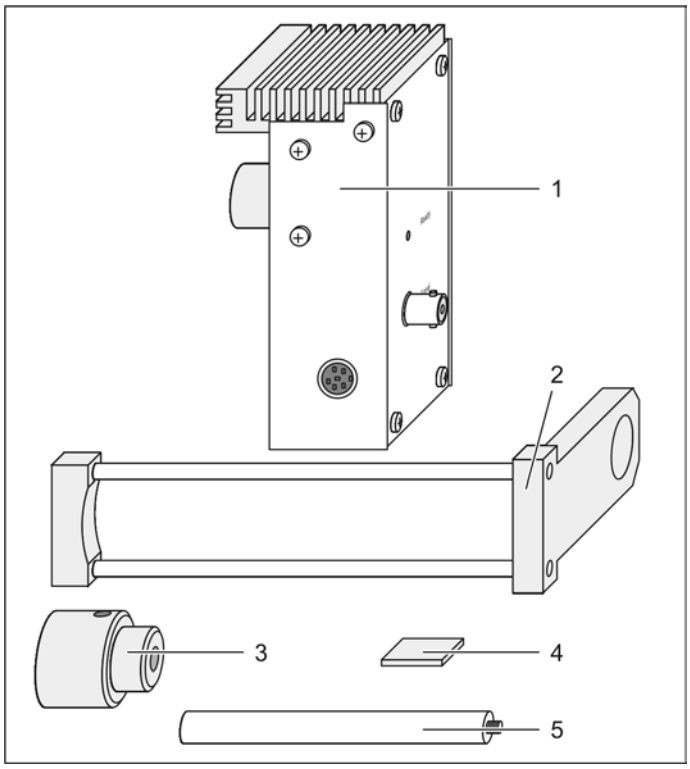
Physique | Chimie · Biologie | Technique

Lehr– und Didaktiksysteme
LD Didactic GmbH
Leyboldstrasse 1 · D-50354 Huerth

06/05-W97-Iv/Sel



Mode d’emploi 559 938

Détecteur d’énergie de rayonnement X (559 938)

1 Détecteur d’énergie de rayonnement X
2 Porte-capteur
3 Ecran d’atténuation
4 Cible d’étalonnage
5 Tige avec filetage

1 Description

Le détecteur d’énergie de rayonnement X permet le relevé des spectres d’énergie du rayonnement X ou γ dans la bande d’énergie d’env. 2 keV à 60 keV. Il se compose d’une photodiode PIN silicium refroidie par un élément à effet Peltier. Un préamplificateur sensible à la charge et un amplificateur principal linéaire à conformateur d’impulsions sont intégrés dans le boîtier du détecteur. Le détecteur convient notamment pour le montage dans l’appareil à rayons X (554 811).

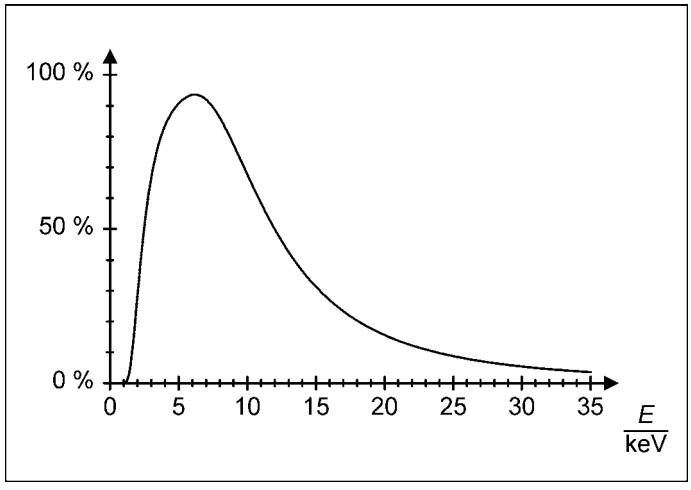
2 Fournitures

1 détecteur d’énergie de rayonnement X
1 alimentation portable, 100-240 VCA
1 câble BNC, 50 cm
1 porte-capteur
1 tige avec filetage
1 écran d’atténuation
1 cible d’étalonnage (acier galvanisé)
1 protocole d’essai
1 clé Allen, 1,5 mm

3 Probabilité de détection

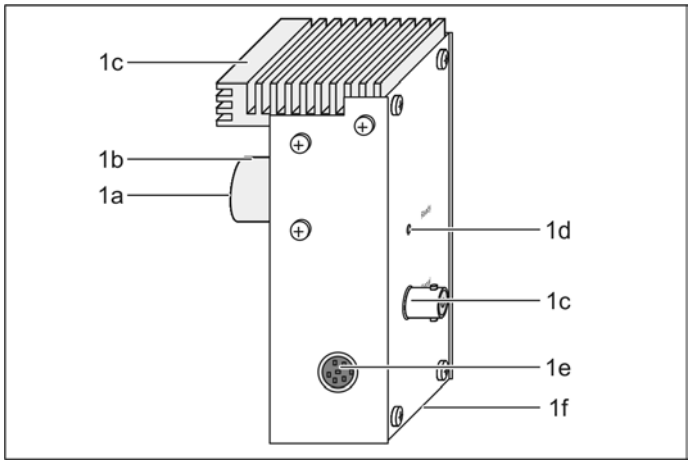
La probabilité qu’un photon de rayon X incident dans la photodiode PIN silicium soit détecté dépend de son énergie *E*.

La figure ci-dessous illustre la dépendance jusqu’à l’énergie maximale de l’appareil à rayons X (554 811). Pour des énergies supérieures, la probabilité de détection régresse de plus en plus.



4 Composants

4.1 Détecteur d'énergie de rayonnement X



1a Fenêtre d'entrée
1b Tube
1c Refroidisseur
1d LED témoin
1c Sortie du signal
1e Entrée de la tension d'alimentation
1f Douille taraudée M6

Tube :
pour la fixation du détecteur dans le porte-capteur fourni

LED témoin :
rouge : la tension d'alimentation est appliquée,
vert : photodiode PIN silicium refroidie, détecteur opérationnel

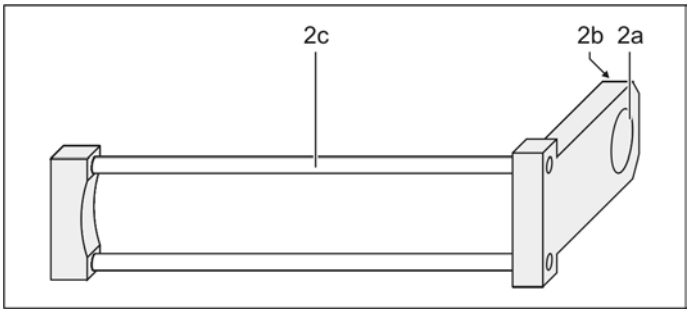
Sortie du signal :
à connecter à l'adaptateur AMC (524 058)

Entrée de la tension d'alimentation :
à connecter à l'alimentation portable fournie

Douille taraudée M6 :
pour la fixation à la tige à filetage fournie

4.2 Porte-capteur :

pour la fixation du détecteur d'énergie de rayonnement X dans le goniomètre de l'appareil à rayons X (554 811)



2a Perçage
2b Vis à six pans creux, 1,5 mm
2c Tiges de guidage

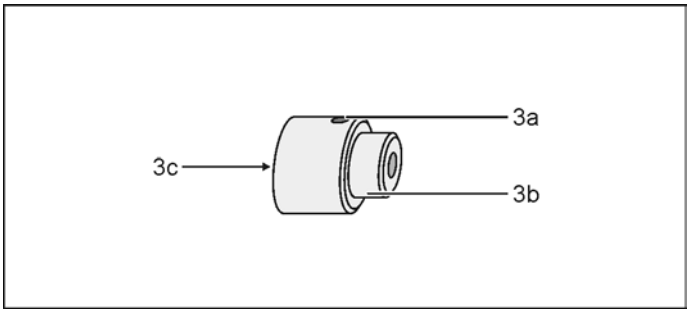
Perçage :
correspond au diamètre du tube du détecteur d'énergie de rayonnement X

Vis à six pans creux, 1,5 mm :
pour la fixation du détecteur d'énergie de rayonnement X

Tiges de guidage :
adaptées au bras pour capteur du goniomètre dans l'appareil à rayons X (554 811)

4.3 Ecran d'atténuation :

pour l'atténuation du faisceau de rayonnement X pour des mesures directes avec le détecteur d'énergie de rayonnement X dans le faisceau primaire de l'appareil à rayons X. Les deux vis scellées avec de la cire libèrent une fine fente de 10 μm de largeur pour le faisceau primaire.



3a Vis (scellées)
3b Tubulure pour filtres
3c Perçage d'ajustage

Tubulure pour filtres :
pour l'enfichage des filtres (554 832 et 554 833)

Perçage d'ajustage :
adapté au collimateur à fente de l'appareil à rayons X (554 811) et au collimateur circulaire fourni avec les accessoires pour l'effet Compton II Xray (554 837)

5 Caractéristiques techniques

Détecteur d'énergie de rayonnement X :

Bande d'énergie :	env. 2 keV à 60 keV
Résolution en énergie :	0,4 keV (largeur à mi-hauteur) pour $E_{FeK\alpha}$ = 6,40 keV
Non linéarité (y compris adaptateur AMC) :	< 1 % pour E = 3-35 keV
Dérive énergétique à long terme :	< 3 % (après 4 h de fonctionnement permanent dans l'appareil à rayons X pour ϑ_{lab} = 25 °C)
Fenêtre d'entrée :	plastique (absorption équivalente à celle du graphite avec d = 40 µm)
Détecteur :	photodiode PIN silicium
Surface active du détecteur :	0,8 mm ∅
Epaisseur du détecteur :	env. 150 µm
Boîtier du détecteur :	alliage de fer recouvert d'un alliage d'or
Temps de montée des signaux de sortie :	env. 0,5 µs
Temps de chute des signaux de sortie :	env. 5 µs
Temps mort par impulsion :	env. 250 µs
Température de travail de la photodiode PIN silicium :	env. -15°C
Refroidissement du détecteur :	thermoélectrique (élément à effet Peltier)
Tensions d'alimentation :	±15 V, +5 V (fournies par l'alimentation portable, 100-240 VCA)
Entrée tensions d'alimentation :	douille Mini DIN
Sortie du signal :	douille BNC
Dimensions :	60 mm × 120 mm × 60 mm
Masse :	450 g

Ecran d'atténuation :

Largeur de la fente :	env. 10 µm

Cible d'étalonnage :

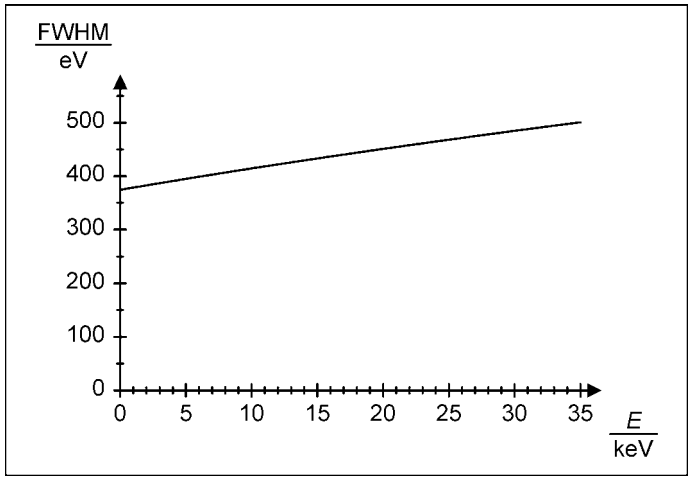
Matériau :	acier galvanisé
Raie Fe Kα :	6,40 keV (valeur moyenne pondérée)
Raie Zn Kα :	8,63 keV (valeur moyenne pondérée)
Dimensions :	25 mm × 25 mm

6 Résolution en énergie

La largeur à mi-hauteur (FWHM) dépend de l'énergie E du rayonnement X :

$$\mathrm{FWHM}(E) = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot \ln 2} \cdot \sqrt{\sigma_{el}^2 + F \cdot \varepsilon \cdot E}$$

avec $\sigma_{el} \approx$ 160 eV, $F \approx$ 0,15, ε = 3,8 eV



7 Remarque concernant le fonctionnement

L'infiltration de vapeur d'eau de l'air ambiant par la mince fenêtre d'entrée du détecteur d'énergie de rayonnement X ne peut pas être complètement exclue au fil des années, ceci risquant d'affecter le bon fonctionnement de la photodiode PIN silicium.

Si pour cette raison, le détecteur d'énergie de rayonnement X venait au bout d'un certain temps à ne plus fonctionner correctement, il peut alors être renvoyé au fabricant LD Didactic GmbH à des fins d'inspection et de réparation.

8 Accessoires

pour la spectroscopie d'énergie :

1 câble HF, 1 m	501 02
1 adaptateur AMC	524 058
1 Sensor-CASSY	524 010
ou	
1 Pocket-CASSY	524 006
1 CASSY Lab	524 200

1 PC avec Windows 98/NT ou version plus récente

pour la mise en évidence de l'effet Compton sur des faisceaux de rayons X :

Accessoires pour l'effet Compton II Xray	554 837
Appareil à rayons X avec tube à rayons X Mo et goniomètre	554 811

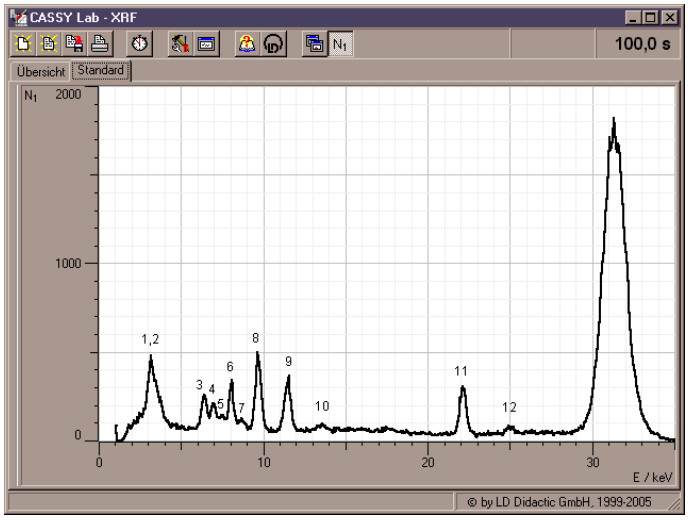
pour la spectroscopie par fluorescence X :

Lot de cibles fluorescence des raies K	554 844
Lot de cibles fluorescence des raies L	554 846
Appareil à rayons X avec tube à rayons X Mo et goniomètre	554 811
ou	
avec tube à rayons X Cu et goniomètre	

9 Fluorescence du matériau du boîtier

Une partie du rayonnement X incident s'infiltre à travers la paroi de la photodiode PIN silicium où elle excite des atomes qui induisent la fluorescence X. Leur rayonnement caractéristique parvient en partie dans la photodiode et est enregistré avec le faisceau primaire de rayons X. De ce fait, le spectre mesuré peut toujours également comprendre les raies caractéristiques des éléments Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Au et Ag.

L'excitation de l'une ou l'autre des raies caractéristiques dépend de l'énergie du rayonnement primaire. Les raies L de l'or sont celles qui se manifestent le plus souvent.



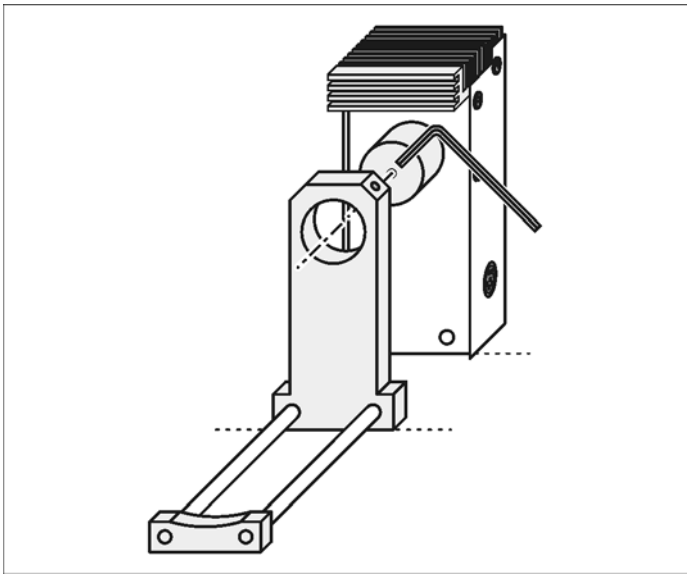
Fluorescence par résonance du boîtier de la photodiode PIN silicium, excitée par un rayonnement X monochromatisé (réflexion de Bragg) avec E = 31 keV.

N°	Raie	E / keV	N°	Raie	E / keV
1	Ag Lα	2,98	7	Zn Kα	8,64
2	Ag Lβ	3,15	8	Au Lα	9,71
3	Fe Kα	6,40	9	Au Lβ	11,44*
4	Co Kα	6,93	10	Au Lγ	13,38*
5	Ni Kα	7,48	11	Ag Kα	22,16*
6	Cu Kα	8,05	12	Ag Kβ	24,94*

* Energie de la raie Kα1

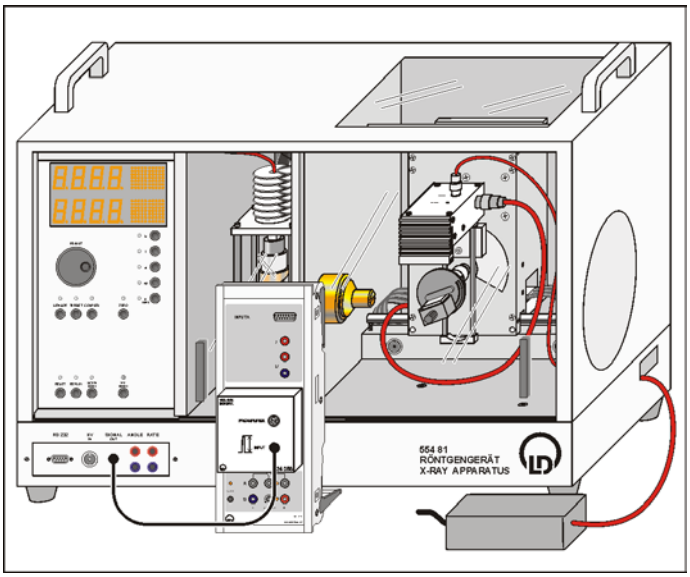
10 Fonctionnement dans l'appareil à rayons X (554 811)

10.1 Montage dans le porte-capteur :



– Introduire le tube du détecteur d'énergie de rayonnement X dans le perçage du porte-capteur fourni et l'enfoncer jusqu'en butée.
– Orienter le détecteur d'énergie de rayonnement X et le fixer avec les vis à six pans creux.

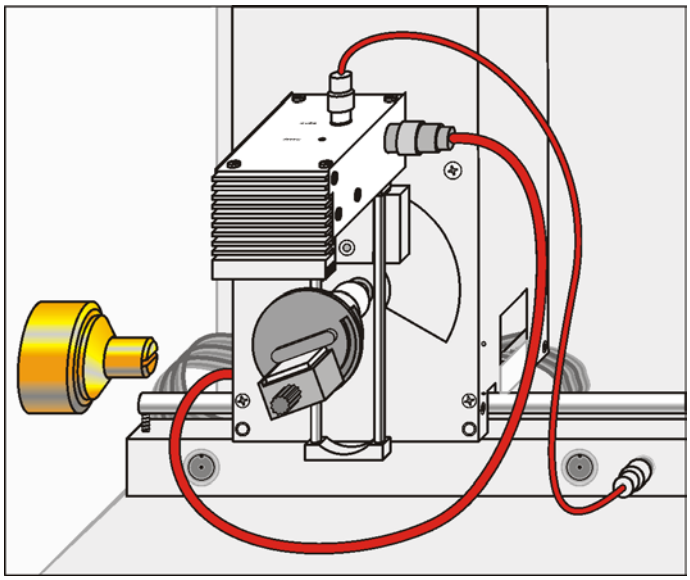
10.2 Montage dans l'appareil à rayons X (554 811) et connexion à l'adaptateur AMC (524 058) :

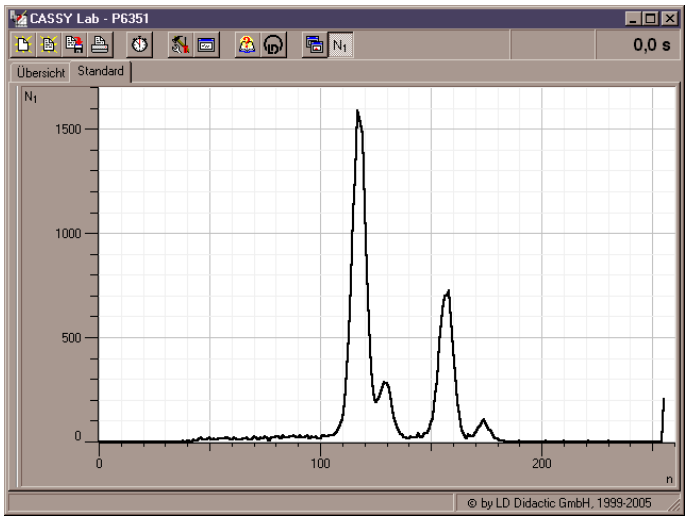


– Enfiler le câble de connexion de l'alimentation portable dans le conduit vide de l'appareil à rayons X (554 811) puis le brancher à l'entrée de tension d'alimentation du détecteur d'énergie de rayonnement X.
– Monter le porte-capteur avec le détecteur d'énergie de rayonnement X dans le bras pour capteur du goniomètre et placer le câble de connexion de manière à permettre le pivotement complet du bras pour capteur.
– Utiliser le câble BNC fourni pour brancher la sortie du signal du détecteur d'énergie de rayonnement X à la douille BNC SIGNAL IN dans la partie expérimentation de l'appareil à rayons X.

– Brancher la sortie Signal Out du champ de connexion de l'appareil à rayons X à l'adaptateur AMC à l'aide du câble BNC.

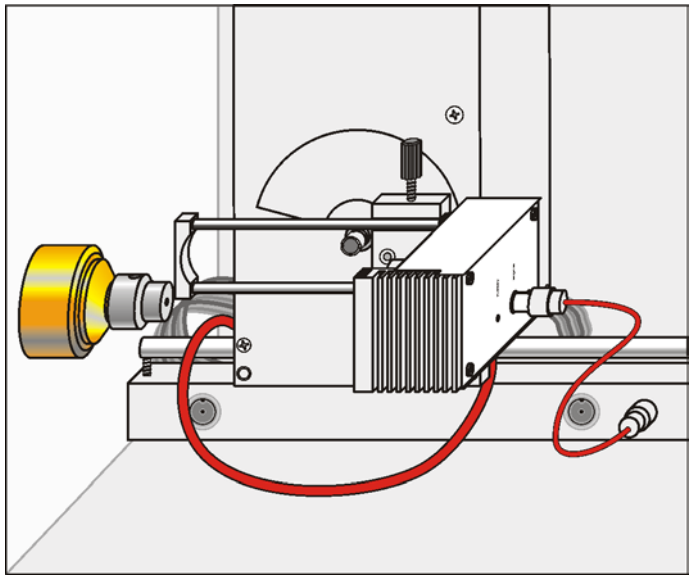
10.3 Mesure avec la cible d'étalonnage :

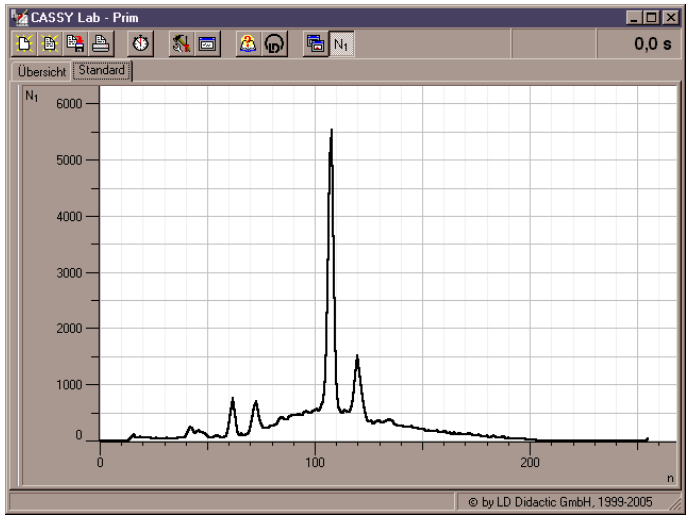




– Fixer la cible d'étalonnage sur le plateau pour cible du goniomètre.
– Fermer la partie expérimentation de l'appareil à rayons X et régler un angle du capteur de 90° et un angle de la cible de 45°.
– Brancher l'alimentation portable à la tension secteur et attendre env. 2 min. jusqu'à ce que le témoin lumineux du détecteur d'énergie de rayonnement X éclaire vert (passage du rouge au vert).
– Sélectionner une haute tension du tube *U* = 35 KV, un courant d'émission *I* = 1,00 mA puis enclencher la haute tension du tube.
– Dans CASSY Lab, sélectionner les paramètres de mesure « Mesure multicanal, 256 canaux, Impulsions négatives, Gain -6, Durée de la mesure 300 s ».
– Lancer le relevé du spectre avec ou la touche F9 (le spectre relevé pour la mesure avec l'anode Mo ou l'anode Cu est celui illustré ci-dessus).

10.4 Mesure du faisceau primaire :





– Démonter le porte-cible avec le plateau pour cible et amener le capteur à la position 0°.
– Enfiler l'écran d'atténuation jusqu'en butée sur le collimateur et bien l'orienter (avec les vis indiquant le haut et le bas).
– Brancher l'alimentation portable à la tension secteur et attendre env. 2 min. jusqu'à ce que le témoin lumineux du détecteur d'énergie de rayonnement X éclaire vert (passage du rouge au vert).
– Sélectionner une haute tension du tube *U* = 35 KV, un courant d'émission *I* = 0,10 mA puis enclencher la haute tension du tube.
– Dans CASSY Lab, sélectionner les paramètres de mesure, « Mesure multicanal, 256 canaux, Impulsions négatives, Gain -2, Durée de mesure 300 s ».
– Lancer le relevé du spectre avec ou la touche F9 (le spectre relevé pour la mesure avec l'anode Mo est celui illustré ci-dessus).
– Chercher par pas de 0,1° en partant de 0° l'angle du capteur pour lequel le taux de comptage total est à 200 1/s.

Si aucun ou très peu de résultats sont comptés :
– Tourner l'écran d'atténuation de 180° et recommencer à chercher l'angle optimal du capteur.

11 Etalonnage énergétique

– Dans CASSY Lab, ouvrir la fenêtre de dialogue « Etalonnage énergétique » avec les touches Alt+E puis sélectionner « Etalonnage énergétique global ».

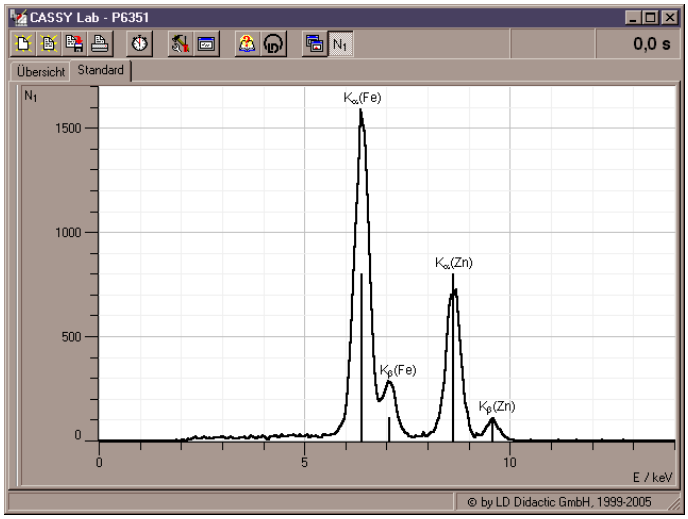
– Inscrire les énergies de deux raies mesurées.

– Dans le menu déroulant de la fenêtre de diagramme, sélectionner le point de menu « Autres exploitations » → « Calcul valeur principale du pic » puis marquer le domaine de la première raie.

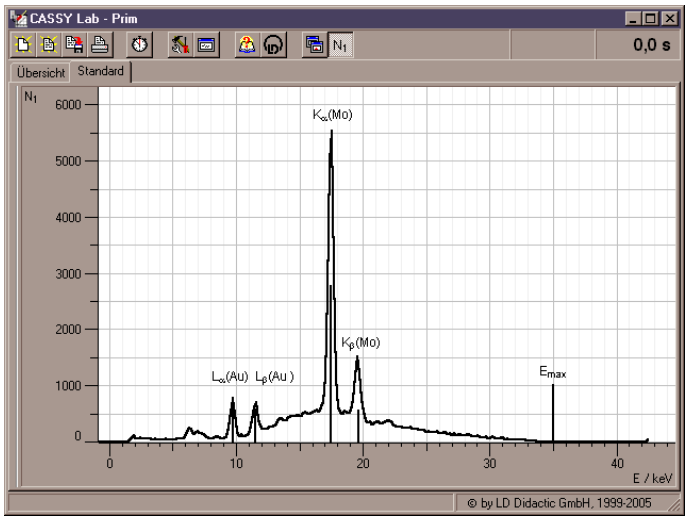
– Inscrire le résultat dans la fenêtre de dialogue « Etalonnage énergétique ».

– Pour finir, déterminer et inscrire la valeur principale de la deuxième raie.

– Fermer la fenêtre de dialogue « Etalonnage énergétique » en cliquant sur OK.



Spectre de fluorescence étalonné en énergie de la cible d'étalonnage, raies utilisées pour l'étalonnage : Fe Kα (*E* = 6,40 keV) et Zn Kα (*E* = 8,63 keV)



Spectre étalonné en énergie du faisceau primaire d'une anode Mo pour une haute tension du tube *U* = 35 kV, raies utilisées pour l'étalonnage : Mo Kα (*E* = 17,44 keV) et Au Lα (9,71 keV)

12 Gammes de mesure

Gain de l'adaptateur AMC	Energie mesurable maximale
1	env. 84 keV
2	env. 42 keV
3	env. 28 keV
4	env. 21 keV
5	env. 17 keV
6	env. 14 keV

13 Fonctionnement dans montage sur statif

– Visser la tige avec filetage fournie dans la douille taraudée du détecteur d'énergie de rayonnement X et la monter dans le matériel support.

– Brancher le câble de connexion de l'alimentation portable à l'entrée de tension d'alimentation du détecteur d'énergie de rayonnement X.

– Connecter la sortie du signal du détecteur d'énergie de rayonnement X à l'adaptateur AMC à l'aide du câble BNC.

– Sélectionner les paramètres de mesure « Mesure multicanal, Impulsions négatives, Gain –1 » dans CASSY Lab.

©by LD Didactic GmbH

Printed in the Federal Republic of Germany
Technical alterations reserved